

Ferramenta Computacional para Gestão de Ocorrências em Redes Elétricas

Henrique Kagan, Marcelo Aparecido Pelegrini,
Gabriel Albieri Quiroga, Gustavo de Góis Himeno,
Pedro França de Oliveira Caputo
Sinapsis Inovação em Energia
henrique.kagan@sinapsisennergia.com

Gustavo Travassos Aguiar da Silva
Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia
gtravassos@neoenergia.com

Resumo — Neste artigo são apresentadas metodologia e implementação de ferramenta computacional para gestão de ocorrências em redes elétricas. O objetivo desta ferramenta é prover uma visão espacial em relação às interrupções no fornecimento de energia da rede. Dessa forma, ela auxiliará na avaliação dos impactos das soluções para melhoria da qualidade de energia. A ferramenta computacional foi desenvolvida sobre a plataforma de cálculo elétrico SINAPgrid. Para a validação da ferramenta realizou-se um estudo de caso real em associação com a Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia.

Palavras-chaves — Gestão de ocorrências, índices de continuidade, distribuição de energia, qualidade do serviço, planejamento da rede.

I. INTRODUÇÃO

A melhoria da qualidade de energia tem sido um dos principais desafios impostos às distribuidoras de energia nos últimos anos. No Brasil, a qualidade percebida pelo consumidor de uma concessionária ou permissionária de serviço público de distribuição de energia elétrica é avaliada a partir de três grandes aspectos: a qualidade do “produto” energia elétrica (relacionada à conformidade da tensão em regime permanente e à ausência de perturbações na forma de onda), a qualidade do “serviço” (relacionada à continuidade na prestação do serviço) e a qualidade do atendimento ao consumidor [1].

De maneira geral, no tocante à qualidade de serviço, que é enfoque desta pesquisa, a duração e a frequência das interrupções são os principais parâmetros para avaliação do desempenho das distribuidoras. Por causarem prejuízos à sociedade, essas falhas devem ser minimizadas.

Como forma de promover a minimização destas falhas, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), órgão regulador do sistema elétrico brasileiro, obriga as distribuidoras a ressarcirem os seus consumidores afetados individualmente, de acordo com a intensidade com que foram afetados. Dessa forma, clientes sujeitos a serviço de qualidade inferior àquela que deveria ser praticada recebem compensações financeiras pela falta de qualidade.

Neste contexto, se verifica a importância para a distribuidora de investimentos em alternativas que contribuam para a melhoria da sua qualidade de serviço. De forma a facilitar a análise dessas alternativas e auxiliar o planejador da rede elétrica na sua tomada de decisão, a

distribuidora necessita de ferramentas que lhe forneçam um panorama geral do estado atual de sua rede elétrica.

A ferramenta computacional para gestão de ocorrências em redes elétricas tem como objetivo prover uma visão espacial em relação às interrupções no fornecimento de energia da rede. Consequentemente, ela auxiliará na avaliação dos impactos das soluções para melhoria da qualidade de energia, como a instalação de dispositivos de automação na rede e alocação de turmas e bases de atendimento. Por fim, a ferramenta poderá auxiliar no cálculo de índices de continuidade da rede, dentre os quais:

- Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC)
- Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC)
- Duração de interrupção individual por unidade consumidora (DIC)
- Frequência de interrupção individual por unidade consumidora (FIC)

Neste artigo são apresentados os principais pontos metodológicos utilizados no desenvolvimento da ferramenta computacional e a sua implementação em uma rede de distribuição real localizada na área de concessão da Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (Coelba). A ferramenta computacional tema deste artigo é parte do projeto de Pesquisa & Desenvolvimento (P&D) intitulado “Metodologia e ferramenta para co-simulação de redes elétricas e de telecomunicações para aplicações em Redes Elétricas Inteligentes”, que está sendo realizado dentro do programa de pesquisa e desenvolvimento da ANEEL.

II. METODOLOGIA

A ferramenta computacional utiliza como base para seus cálculos os dados de interrupções obtidos diretamente do banco de ocorrências das distribuidoras. A partir desses dados, a ferramenta computacional totaliza o número de interrupções e calcula o tempo médio de reparo para todos os equipamentos que possuem ocorrências no banco. Em seguida, esses valores são utilizados para o cálculo de quantidades de interrupções, taxas de falhas e tempos médios de reparo por bloco. O diagrama de blocos

representando o funcionamento da ferramenta computacional é apresentado na Fig. 1.

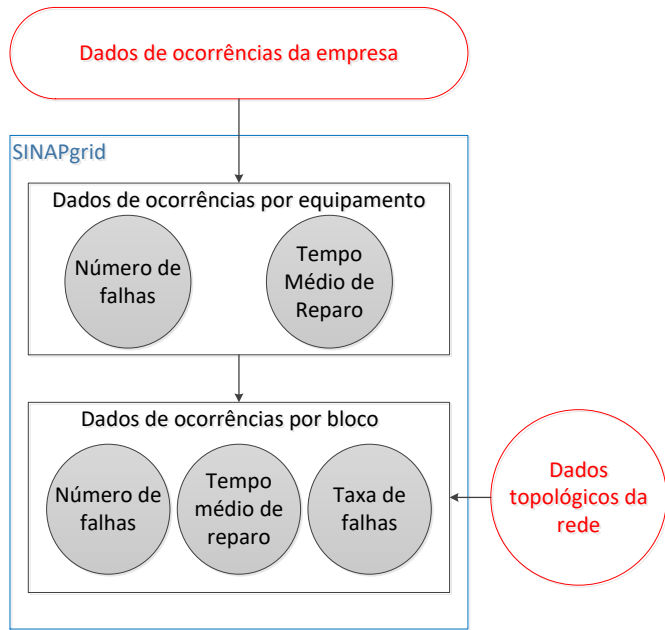


Fig. 1. Diagrama de blocos da ferramenta computacional.

Para auxiliar na apresentação da metodologia será utilizada como exemplo a rede fictícia da Fig. 2.

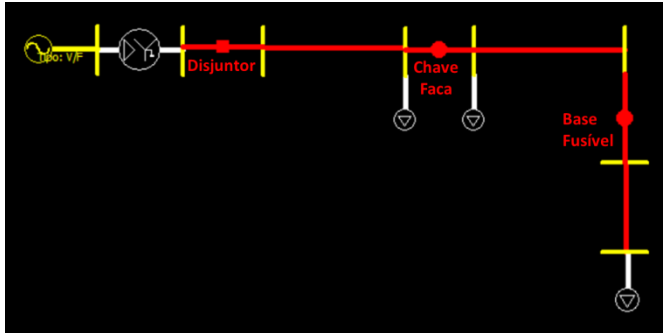


Fig. 2. Rede exemplo

Primeiramente, os dados apresentados na Tabela I são importados do banco de ocorrências da empresa.

Tabela I. Dados importados do banco de ocorrências da empresa.

Campo da empresa	Descrição
Reclamação	Data e hora inicial da ocorrência
Acionamento	Data e hora da finalização do tempo de preparo
Localização	Data e hora da localização do defeito
Final	Data e hora da conclusão da ocorrência
ID	Número da ocorrência
Equipamento	Código GIS do equipamento que atuou na ocorrência
Alimentador	Alimentador em que ocorreu a falta
Causa	Código da causa da falta
Clientes interrompidos x hora (CliH)	Produto de clientes atingidos por horas de interrupção
Clientes interrompidos (Cli)	Número de clientes atingidos
Abrangência	Código da abrangência da ocorrência
Programada	Ocorrência programada ou não programada

Para o disjuntor foram encontradas no banco de ocorrências fictício da empresa, referente a um ano, duas ocorrências, conforme Fig. 3.

Ordem	Código	DH_Interrupção	DH_Restauração	CliH	Clientes
2	Disjuntor	02/01/2017 08:00:00	02/01/2017 11:00:00	3.00	1
3	Disjuntor	03/01/2017 08:00:00	03/01/2017 14:00:00	6.00	1

Fig. 3. Dados de ocorrências para o equipamento disjuntor.

Em seguida, totalizam-se as interrupções acidentais e programadas e calculam-se os tempos médios de reparo para todos os equipamentos listados no banco. A totalização das interrupções é feita diretamente através do código do equipamento. O cálculo do tempo médio de reparo é realizado conforme (1). Em uma primeira etapa calcula-se o tempo para cada ocorrência dividindo o valor de CliH por Cli. No caso de equipamentos com apenas uma ocorrência esse valor é definido como tempo médio de reparo do equipamento, caso ele possua mais de uma ocorrência associada, o tempo médio de reparo é obtido através da média dos tempos das ocorrências. A Fig. 4 apresenta o resultado para o disjuntor do caso teste.

$$t_{\text{médio reparo}} = (CliH_1/Cli_1 + CliH_2/Cli_2 + \dots + CliH_n/Cli_n)/n \quad (1)$$

Código	Nº de ocorrências	Tempo Médio Reparo [min.]
Disjuntor	2	270.000

Fig. 4. Totalização de interrupções realizada pelo módulo para o equipamento disjuntor.

Para o cálculo de número de interrupções por bloco é necessário primeiramente que se definam no módulo os tipos de chaves que possuem função de proteção na rede, ou seja, aquelas que devem atuar em casos de defeitos.

Os blocos definidos por chaves com função de proteção e que não possuem outros tipos de chaves na sua zona principal de proteção tem o número de falhas e o tempo médio de reparo obtido diretamente do equipamento associado, a partir destes dados calcula-se a taxa de falhas utilizando (2). Na Fig. 5 é apresentado o resultado obtido para a chave fusível do caso teste.

$$\text{Taxa de falhas} = nf/l \quad (2)$$

Onde,

nf Número total de falhas no bloco

l Comprimento do bloco em km

Chave	Taxa de Falhas [falhas/km]	Comprimento [km]	Nº de falhas/ano	Tempo Médio Reparo [min.]
Fusível	0.50	2.00	1.0	180.00

Fig. 5. Taxa de falhas e tempo médio de reparo calculados pelo módulo para o bloco definido pela chave fusível.

As demais chaves são consideradas como dispositivos exclusivamente de seccionamento, nesses casos os cálculo do número de falhas e tempos de reparo para blocos é feito de forma indireta, pois para ocorrências não programadas na zona de proteção destes blocos é o dispositivo de proteção a localizado a montante que atua. Dessa forma, o tempo médio de reparo é aproximado pelo tempo associado ao equipamento de proteção localizado imediatamente a montante da chave. Para o número de falhas nesses blocos, considera-se que a taxa de falhas será igual à taxa de falhas do bloco definido pelo equipamento de proteção

imediatamente a montante. Sendo assim, calcula-se a taxa de falhas na zona de proteção principal do equipamento de proteção imediatamente a montante utilizando o comprimento total da zona principal de proteção da chave e o total de falhas nessa zona oriundo do banco de ocorrências. Por fim, a partir desses valores calcula-se o número total de falhas para os blocos multiplicando a taxa de falhas e o comprimento de cada bloco. Os resultados obtidos para a rede fictícia de exemplo são apresentados na Fig. 6.

Chave	Taxa de Falhas [falhas/km]	Comprimento [km]	Nº de falhas/ano	Tempo Médio Reparo [min.]
Disjuntor	0.80	2.00	1.6	270.00
Chave Faca	0.80	0.50	0.4	270.00

Fig. 6. Taxas de falha e tempos médios de reparo calculados pelo módulo para os blocos definidos pelo disjuntor e chave faca.

III. PLATAFORMA DE SIMULAÇÃO

A plataforma de simulação escolhida denomina-se SINAPgrid a qual se caracteriza por disponibilizar uma série de funções para análise de redes elétricas, de forma georreferenciada, permitindo, também, o desenvolvimento e inclusão de módulos novos de forma transparente. Sua principal característica e seu principal diferencial em relação a outros produtos do mercado é a modelagem da rede elétrica que permite a representação integrada e completa de qualquer topologia, envolvendo todos os segmentos do sistema.

Ao integrar a ferramenta computacional na plataforma SINAPgrid torna-se possível ter uma visão espacial em relação às interrupções no fornecimento de energia através da associação entre os dados de ocorrências da empresa e os dados topológicos da rede.

IV. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi realizado com o objetivo de validar a ferramenta computacional desenvolvida. Para isso utilizou-se, como objeto de estudo, a subestação (SE) CPC do município de Camaçari, que possui 8 alimentadores e está localizada na área de concessão da Coelba. Os dados dos alimentadores, incluindo dados topológicos, foram obtidos diretamente dos sistemas legados georreferenciados da concessionária e importados pela plataforma SINAPgrid. Na Fig. 7 é apresentada a rede de distribuição no SINAPgrid após a importação.

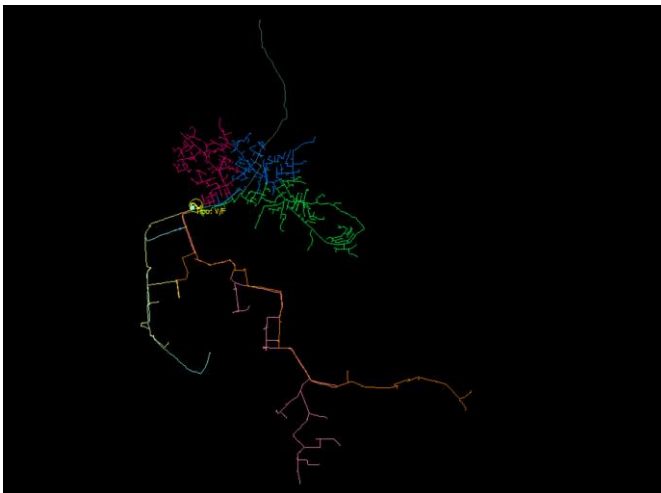


Fig. 7. Rede de distribuição da SE CPC no SINAPgrid.

Além da rede elétrica, para realização do cálculo do número de ocorrências em cada bloco da rede foram utilizados os dados de interrupções, de acordo com a Tabela I, retirados do banco de ocorrências da distribuidora referente ao ano de 2015.

A partir do banco foram importados todos os dados de ocorrências associados aos alimentadores da SE CPC, conforme apresentado na Fig. 8.

Dados das ocorrências						
Data Final	Defeito Equ...	X Defeito	Y Defeito	Circuito	Causa	Cliente
08/07/2015 10:02:00	10762111	900741.91	8602114.85	CPC-0921	INTERFER...	1
21/06/2015 09:35:00	10762774	901748.12	8603199.90	CPC-0922	CHUVA / V...	1
09/10/2015 16:57:00	10763142	903913.92	8601722.44	CPC-0923	MEDIDOR ...	1
03/09/2015 11:20:00	12531869	900103.65	8603674.89	CPC-0921	CORROSA...	40
14/07/2015 08:23:00	12547110	905346.27	8600491.43	CPC-0923	CORROSA...	1
22/12/2015 17:43:00	12763123	902141.41	8602457.82	CPC-0922	CORROSA...	1
11/02/2015 16:24:00	1350498	902640.64	8602685.67	CPC-0922	SERVICO ...	1
27/12/2015 13:27:00	1351141	902889.73	8603459.63	CPC-0922	CORROSA...	1
23/11/2015 21:25:00	1351540	902968.28	8603669.15	CPC-0922	CORROSA...	1
03/09/2015 16:41:00	1351591	902528.47	8603142.47	CPC-0922	CORROSA...	1
20/02/2015 04:52:00	1352210	902936.93	8602968.60	CPC-0922	CORROSA...	1

Fig. 8. Dados de interrupções importados pelo módulo do banco de ocorrências da distribuidora.

O cálculo de ocorrências gerou como resultado as totalizações de interrupções acidentais e programadas e seus tempos médios de reparo para todos os equipamentos. Na Fig. 9 são apresentados os resultados obtidos para uma chave e sua localização na rede elétrica.

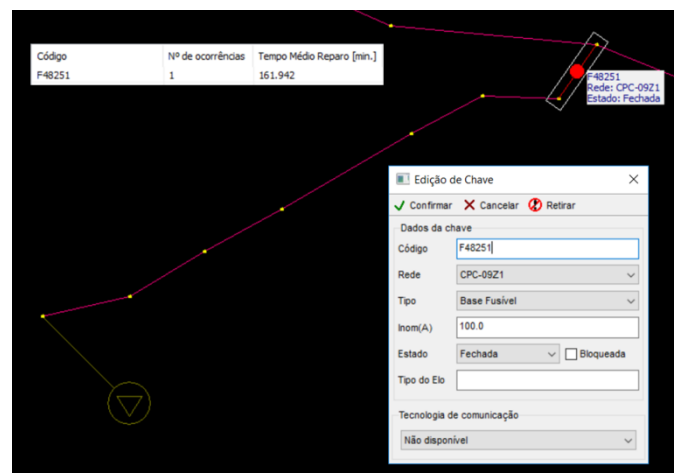


Fig. 9. Resultados referentes às interrupções por equipamento.

Em seguida, realiza-se o cálculo de ocorrências por bloco. Na Fig. 10 é apresentado o bloco destacado na rede elétrica junto às respectivas informações de quantidade de interrupções, taxas de falhas e tempo médio de reparo.



Fig. 10. Resultados referentes às interrupções por blocos.

Por fim, são apresentados o mapa de densidade de ocorrências e uma análise da composição do número de ocorrências por alimentador nas Fig. 11 e Fig. 12, respectivamente.

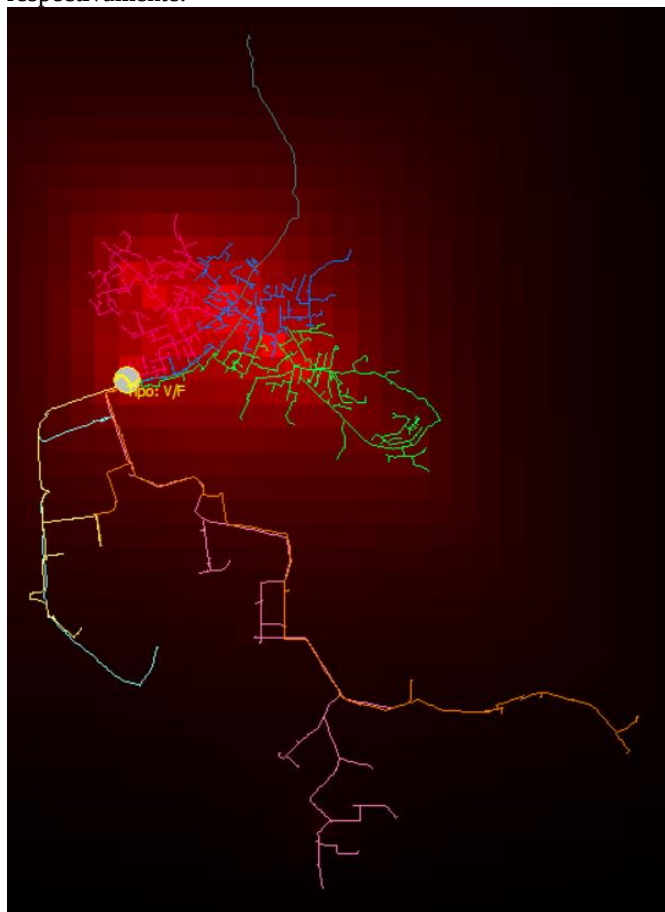


Fig. 11. Mapa de densidade de ocorrências.

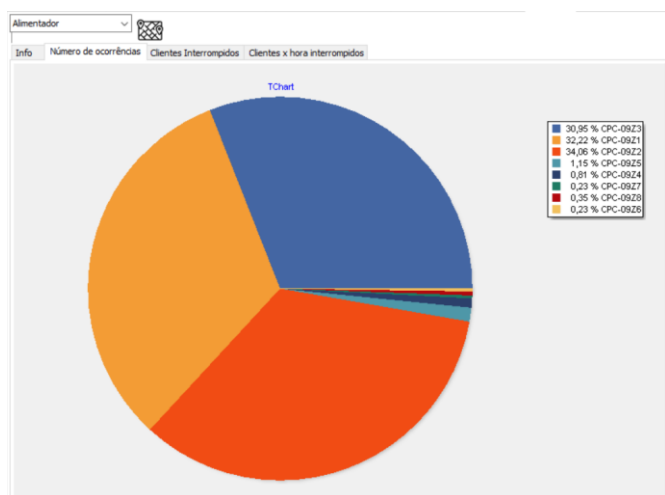


Fig. 12. Composição do número total de ocorrências por alimentador.

V. CONCLUSÕES

Neste artigo foram apresentadas a metodologia e implementação de ferramenta computacional para gestão de ocorrências em redes elétricas. A ferramenta provê uma visão espacial em relação às interrupções no fornecimento da energia na rede elétrica. A implementação da ferramenta foi realizada utilizando redes elétricas reais da distribuidora de energia Coelba, que tiveram seus dados importados

diretamente dos sistemas legados da empresa para a plataforma SINAPgrid.

A implementação da ferramenta computacional mostrou que ela pode ser útil para o planejamento de redes elétricas especialmente com relação à alocação de equipamentos de seccionamento na rede e bases de atendimento. Outro ponto a se destacar é que a ferramenta pode ser utilizada em conjunto com outro o módulo para cálculo de índices de continuidade a priori, já integrado à plataforma SINAPgrid. Com essa integração é possível utilizar os dados de ocorrências da empresa diretamente para realização do cálculo de seus índices de continuidade. Assim, possibilitando a previsão dos impactos das decisões da equipe de planejamento nos resultados e, consequentemente, a otimização de uso de recursos e a maximização de benefícios para concessionária e sociedade.

A ferramenta teve seu desenvolvimento finalizado e atualmente está em fase de implementação nos sistemas da distribuidora.

VI. REFERÊNCIAS

- [1] Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil) (ANEEL). Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/qualidade-na-distribuicao>. Acesso em: 13 de março de 2016.
- [2] Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil) (ANEEL). Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, Módulo 8 – Qualidade de Energia Elétrica, Revisão 7.
- [3] Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil) (ANEEL). Relatório 5 - Avaliação dos Custos Relacionados às Interrupções de Energia Elétrica e suas Implicações na Regulação. Consulta Pública nº 015/2016.
- [4] N. Kagan, C. C. B. Oliveira, E. J. Robba. "Introdução aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Edgard Blücher," 2005.
- [5] N. Kagan, H. P. Schmidt, C. C. B. Oliveira, H. Kagan. "Métodos de otimização aplicados a sistemas elétricos de potência." Blucher, São Paulo, 2009.
- [6] PLATAFORMA SINAPGRID. Disponível em: <http://www.sinapsisenergia.com/portal/produtos/plataforma-sinapgrid-calculos-avancados-em-redes-eletricas/>. Acesso em: 20 de outubro de 2016.